

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: 85400061.9

51 Int. Cl.⁴: **G 06 F 15/72**

22 Date de dépôt: 15.01.85

30 Priorité: 30.01.84 US 575166

43 Date de publication de la demande:
14.08.85 Bulletin 85/33

84 Etats contractants désignés:
CH DE FR GB LI NL

71 Demandeur: **SOCIETE FRANCAISE D'EQUIPEMENTS
POUR LA NAVIGATION AERIENNE (S.F.E.N.A.)**
B.P. 59 Aéroport de Villacoublay
F-78140 Velizy Villacoublay(FR)

72 Inventeur: **Pham, Duc Thuy**
25 bis, Avenue du Bois de Verrières
F-92290 Chatenay Malabry(FR)

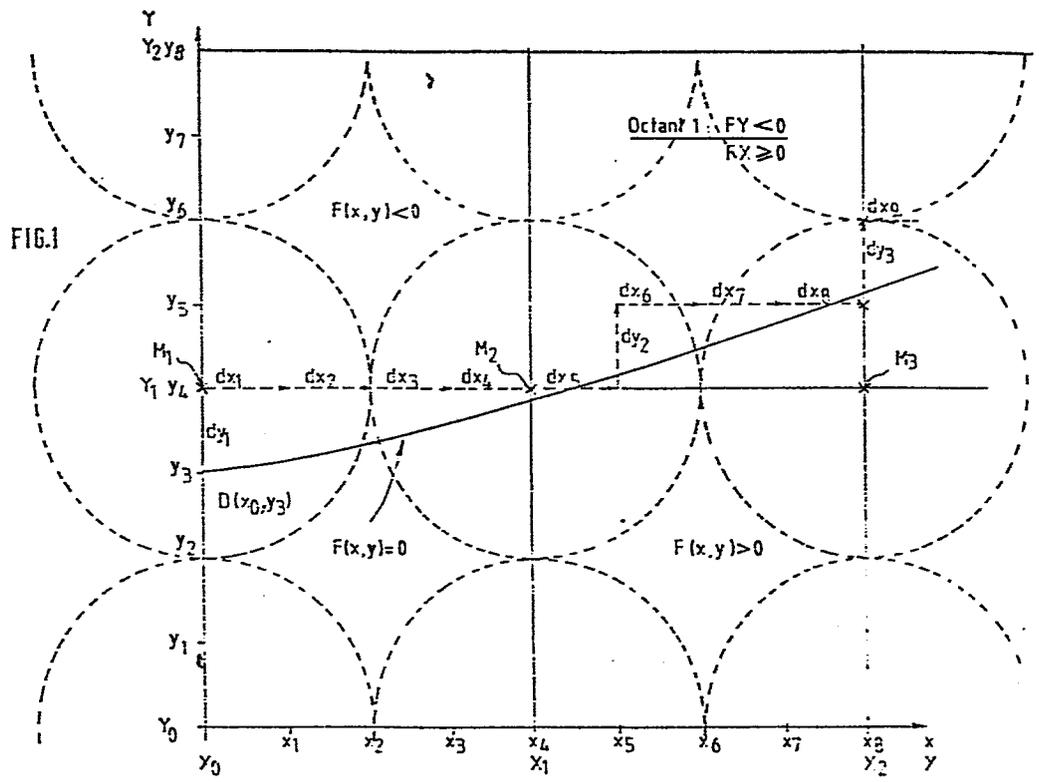
72 Inventeur: **Vanypre, Dominique**
62, rue Péri
F-91430 Igny(FR)

74 Mandataire: **Marquer, Francis et al,**
**CABINET MOUTARD 35, avenue Victor Hugo Résidence
Champfleury**
F-78180 Voisins le Bretonneux(FR)

54 **Procédé et dispositif pour la génération, sur une surface de visualisation à réseau maillé, d'une courbe lissée.**

57 L'invention concerne un procédé pour le tracé, avec lissage, sur une surface de visualisation, d'une courbe d'équation $F(x,y) = 0$, en déterminant, à partir des éléments de contact des extrémités de la courbe, l'ensemble discret (x_i, y_i) des points suivant au mieux ladite courbe dans un réseau maillé, dont le pas est réduit à une fraction du pas du réseau maillé de la surface de visualisation. Ce procédé comprend le calcul des dérivées partielles de l'équation en un premier point de la courbe, la détermination du caractère horizontal d'un motif à appliquer, la détermination d'un changement d'octant, un test fin de courbe, la détermination d'un incrément Δx , $-\Delta x$, Δy ou $-\Delta y$ égal, en valeur absolue, au pas réduit en fonction de l'octant et du signe de l'équation, la mise à jour de l'équation et des dérivées partielles au nouveau point obtenu, la détection du passage de x ou de y à une valeur entière, la détermination d'un motif, en fonction de la partie fractionnaire de x ou de y , l'allumage de ce motif et la répétition du processus.

L'invention permet le tracé de courbes en noir et blanc et en couleur.



- 1 -

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA GENERATION, SUR UNE SURFACE DE VISUALISATION A RESEAU MAILLE, D'UNE COURBE LISSEE.

La présente invention concerne un procédé de lissage des courbes générées par un système de visualisation graphique de type à balayage de télévision en noir et blanc et en couleur.

5

D'une manière générale, on sait que la surface de visualisation d'un tel système peut se diviser en un ensemble de petits carrés fictifs appelés éléments d'image ou "pixels" repérés par les coordonnées de leur centre (X, Y). Habituellement, à une surface de visualisation donnée et à une
10 taille de mémoire donnée correspond un nombre fini de positions de pixels sur l'écran.

Ces éléments sont répartis suivant une grille (réseau mail-
15 lé) dont le pas est donné par la distance entre deux pixels.

Ainsi, la reproduction ou même la réalisation d'une image peut être obtenue en provoquant, par un balayage, l'éclaircissement d'un nombre correspondant de pixels affectés d'une
20 luminance et, éventuellement, d'une chrominance déterminées.

Il s'avère que selon les modes de génération de courbes classiques, les courbes obtenues sont constituées par des suites de segments, horizontaux ou verticaux (selon la pente de la courbe) décalés les uns par rapport aux autres en 5 formant des marches d'escalier.

Pour supprimer cet inconvénient, il convient donc d'effectuer un lissage de la courbe obtenue en procédant à une diminution locale du contraste entre le trait et le fond et 10 en augmentant artificiellement la définition de l'image.

Il a déjà été proposé, pour résoudre ce problème, notamment par le brevet FR No 2 371 031, un procédé consistant à représenter chaque point de la courbe en réglant la luminosité relative d'une matrice d'éléments d'affichage voisins 15 de la position requise pour ce point de la courbe, de manière que ce groupe d'éléments d'affichage crée une impression subjective de ce point de la courbe dans sa position voulue. Ce procédé fait plus particulièrement intervenir une mémoire 20 qui mémorise toutes les contributions possibles de luminosité nécessaire pour chaque élément d'affichage et un circuit qui permet de définir, outre les positions réelles des points de la courbe, les contributions réelles à la luminosité de cet élément. Il s'avère donc que ce procédé est 25 relativement complexe et nécessite, pour sa mise en œuvre, un processeur relativement puissant et équipé de mémoires à grandes capacités.

En vue de résoudre ce problème, la Demanderesse a déjà mis 30 au point un procédé qui se trouve décrit dans la demande de brevet FR No 80 06974 déposée le 28 Mars 1980 pour "Procédé de lissage des courbes générées par balayage de télévision" et qui comprend les étapes suivantes :

35 - la mise en mémoire préalable d'un nombre prédéterminé de motifs composés d'au moins deux pixels adjacents disposés sur une même ligne ou sur une même colonne, et représentant une portion élémentaire de courbe (cette portion élémentaire de courbe pouvant correspondre avec le

barycentre du motif), ces motifs étant adressables en fonction de la position dans le motif de ladite portion élémentaire de courbe ;

- 5 - le calcul pas à pas de la courbe théorique à tracer ;
- la détermination, pour chacun des pas du réseau maillé, du pixel le plus proche de la courbe théorique à tracer ;
- 10 - la mesure, au moins approximative, de la distance e de ce pixel à ladite courbe théorique ;
- la détermination, en fonction de cette distance e , du motif dont la portion de courbe élémentaire correspond
- 15 sensiblement à celle de la courbe théorique à tracer ;
- l'allumage dudit motif sur la surface de visualisation.

Ce procédé fait donc intervenir un algorithme de tracé

20 permettant de déterminer successivement les pixels les plus proches de la courbe théorique à tracer, et d'évaluer la distance e de ces pixels à la courbe, à partir d'un paramètre interne, à savoir la puissance d'un point considéré par rapport à la courbe.

25

L'invention a plus particulièrement pour but un procédé du type de celui précédemment décrit, mais dans lequel la distance e est déterminée de façon complètement externe à l'algorithme, de manière à permettre notamment :

30

- de suivre la courbe théorique sur une maille n fois plus fine (par exemple quatre fois) que la maille de la surface d'affichage en fraction de pixel, et d'obtenir ainsi une courbe lissée à $\frac{1}{n}$ pixel (par exemple à $\frac{1}{4}$ pixel), et

35

- de simplifier considérablement la détermination de la distance e .

D'une façon générale, on sait qu'une courbe peut être caractérisée, sur le plan mathématique, par la connaissance de son équation $F(x,y) = 0$.

5 Equation pouvant se résoudre de façon incrémentale grâce à la formule bien connue :

$$F(x + dx, y + dy) = F(x, y) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} d^n F(x, y)$$

10 Ainsi, par exemple, dans le cas d'une courbe conique, la forme quadratique associée sera de la forme :

$$F(x, y) = Ax^2 + 2 Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + K$$

15 Par ailleurs, on peut choisir les paramètres A, B, C, D, E, K de manière que :

- l'ensemble des points (x,y) tels que $F(x,y) > 0$ est extérieur à la courbe,

20

- l'ensemble des points (x,y) tels que $F(x,y) = 0$ est sur la courbe,

- l'ensemble des points (x,y) tels que $F(x,y) < 0$ est intérieur à la courbe.

25

L'invention propose d'utiliser ces caractéristiques en vue d'effectuer le tracé d'une courbe lissée en déterminant, par un processus incrémental, à partir des éléments de contact
30 de ses extrémités, l'ensemble discret (x_i, y_i) des points suivant au mieux la courbe d'équation $F(x,y) = 0$ dans un réseau maillé à nombre de lignes et de colonne fini, dont le pas est réduit à une fraction, par exemple $\frac{1}{4}$ du pas du réseau maillé de la surface de visualisation.

35

Pour parvenir à ce résultat, le procédé de lissage selon l'invention comprend alors les étapes suivantes :

- dans une phase initiale, le calcul des dérivées partielles de la fonction au point marquant le début de la courbe de coordonnées $x = x_D$, $y = y_D$,
- 5 - la détermination du caractère horizontal ou vertical du motif à appliquer d'après le signe des dérivées premières F_x , F_y et du signe de la différence entre les valeurs absolues de F_x et de F_y ,
- 10 - la détermination d'un changement d'octant,
 - un test fin de courbe,
 - la détermination d'un incrément, Δx , $-\Delta x$, Δy ou $-\Delta y$ égal
 - 15 en valeur absolue au pas réduit, en fonction de l'octant et du signe de la fonction $F(x,y)$,
 - la mise à jour de $F(x,y)$ et des dérivées partielles au nouveau point obtenu sur le réseau maillé à pas réduit,
 - 20
 - selon que le motif à appliquer est vertical ou horizontal, la détection du passage de x ou y à une valeur entière, c'est-à-dire une valeur égale à un nombre entier de pas du réseau maillé de la surface d'affichage, et la répétition
 - 25 du processus à partir de la susdite détection de changement d'octant si x et y sont fractionnaires,
 - dans le cas où y est entier, la détermination d'un motif en fonction de la valeur de e qui est sensiblement égale à
 - 30 la valeur de la partie fractionnaire de x , en fonction du signal de la dérivée $\frac{\partial F}{\partial y}$ et du signe de la valeur F , à l'aide d'une table de vérité, et l'allumage du motif au point (x',y) , x' étant déterminé par une table de vérité en fonction de la dérivée $\frac{\partial F}{\partial y}$ et du signe de F ,
 - 35
 - dans le cas où x est entier, la détermination d'un motif en fonction de la valeur e qui est alors sensiblement égale à la valeur fractionnaire de y , en fonction du signe

de la dérivée $\frac{\partial F}{\partial x}$ et du signe de la valeur F , à l'aide d'une table de vérité, et l'allumage de ce motif au point (x, y') , y' étant déterminé par une table de vérité en fonction de la dérivée $\frac{\partial F}{\partial x}$ et du signe de F ,

5

- la répétition du processus à partir de la susdite détection du changement d'octant, une fois qu'un motif a été allumé.

10 Selon une autre caractéristique de l'invention, pour déterminer les couleurs de lissage, on applique les mêmes relations sur les trois couleurs primaires par exemple le rouge, le vert et le bleu, et on procède à la synthèse additive de ces couleurs. Par ailleurs, on rappelle qu'une portion
15 élémentaire de courbe est considérée de façon microscopique comme un rectangle. Ainsi, pour le calcul de la couleur d'un pixel proche de la courbe, on calcule l'effet produit par ce rectangle sur un pixel. A cet effet, on applique sur ce pixel un filtre de reconstruction et on calcule, par une
20 convolution entre la courbe à tracer et le filtre, la contribution de la courbe sur ce pixel à travers le filtre, ce qui permet d'en déduire la valeur à attribuer au pixel pour régénérer l'effet produit par la courbe passant près de ce pixel.

25

De façon plus précise, si l'on appelle C_f la couleur du fond et C_t la couleur du trait, la couleur C_p du pixel sera déterminée par l'équation :

$$C_p = C_f + K(d, h) (C_t - C_f)$$

30

dans laquelle la variable $K(d, h)$ est fonction du filtre de reconstitution de la distance d du pixel à la portion élémentaire de courbe, et de l'épaisseur h de la courbe. En réalité, cette variable $K(d, h)$ est le résultat de la convolution entre la portion élémentaire de courbe et le filtre

35

de reconstruction.

La variable $K(d, h)$ est déterminée par une table fournissant, pour chacun des pixels constituant un motif et pour une

épaisseur de courbe donnée, la valeur de $K(d,h)$ en fonction de la valeur de e servant à déterminer ce motif.

Des modes de réalisation de l'invention seront décrits ci-
5 après, à titre d'exemples non limitatifs, avec référence aux
dessins annexés, dans lesquels :

10 La figure 1 est un diagramme représentant, à grande
échelle, une portion de la surface de visualisation
d'un dispositif de visualisation, ce diagramme
permettant d'illustrer le principe du tracé avec
lissage d'une courbe, selon l'invention ;

15 La figure 2 est un diagramme représentant, à plus
grande échelle, la surface de visualisation, sur
laquelle une courbe est tracée à l'aide de motifs
verticaux et de motifs horizontaux ;

20 La figure 3 est un algorithme permettant de réaliser
le tracé avec lissage d'une courbe conformément au
susdit second mode d'exécution de l'invention ;

25 Les figures 4 à 8 sont des tables de vérité servant à
déterminer les différents paramètres utilisés par
l'algorithme représenté figure 3 ;

30 La figure 9 est un diagramme représentatif d'une
portion de la surface de visualisation, ce diagramme
permettant d'illustrer un mode de détermination de la
couleur des pixels utilisés pour le tracé de la cour-
be ;

35 La figure 10 est un diagramme précisant la forme
caractéristique du filtre ;

La figure 11 est une table de vérité permettant de
déterminer le coefficient $K(d,h)$ affecté à chaque
pixel d'un motif en fonction de la valeur " e " ;

La figure 12 est un diagramme représentatif d'une portion de la surface de visualisation permettant d'illustrer un mode de détermination de la couleur des pixels utilisés aux extrémités de la courbe ;

5

Les figures 13, 14 et 15 sont des tables de vérité permettant de déterminer le coefficient $K(d)$ affecté aux motifs situés aux extrémités de la courbe ;

10

La figure 16 est le schéma théorique de l'architecture matérielle du dispositif servant à la mise en œuvre du procédé selon l'invention ;

15

La figure 17 est le schéma de la carte de lissage utilisée dans le dispositif représenté figure 15.

Comme précédemment mentionné, les figures 1 à 8 permettent d'illustrer le principe du tracé avec lissage d'une courbe selon un exemple d'exécution de l'invention.

20

Selon cet exemple, la courbe à tracer est un arc de conique dont on connaît la forme quadratique associée qui s'écrit :

$$F(x,y) = Ax^2 + 2 Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + K$$

et dont on connaît les coordonnées des extrémités x_0, y_0 et

25 x_F, y_F .

D'une façon plus précise, le but recherché par l'invention est de déterminer, par un processus incrémental, l'ensemble discret (x_i, y_i) des points suivant au mieux la conique d'équation $F(x,y) = 0$ et ce, dans un réseau maillé dont le pas réduit est égal à une fraction (dans l'exemple représenté $\frac{1}{4}$) du pas du réseau maillé (grille) de la surface de visualisation. En d'autres termes, ceci signifie que l'incrément $(\Delta x, \Delta y)$ qui sera utilisé pour suivre la courbe sera 35 égal à $\frac{1}{4}$ de pixel de la surface de visualisation.

Un tel tracé implique notamment la détermination de chaque incrément $+\Delta x, -\Delta x, +\Delta y, -\Delta y$ selon la pente de la courbe à

ce point (détermination de l'octant) et la position du point $F(x_{n-1}, y_{n-1} \pm \Delta y)$ ou $F(x_{n-1} \pm \Delta x, y_{n-1})$ par rapport à la courbe.

- 5 La détermination de l'octant est obtenue à partir du signe des dérivées premières $F_x = \frac{1}{4} \frac{\partial F}{\partial x}$, $F_y = \frac{1}{4} \frac{\partial F}{\partial y}$ et du signe de la différence entre la valeur absolue F_x et la valeur absolue de F_y . Cette détermination peut être effectuée au moyen d'un décodeur dont la table de vérité fournit la valeur de
- 10 l'octant $f_1(F_x, F_y)$ (figure 4) en fonction des signes de (F_x) , (F_y) et de $(|F_x| - |F_y|)$. Ce décodeur peut en outre fournir une indication f_2 (octant) permettant de savoir si le motif à utiliser doit être vertical ou horizontal.
- 15 La détermination de l'incrément $+\Delta x$, $-\Delta x$, $+\Delta y$, $-\Delta y$ à utiliser s'effectue en fonction de l'octant précédemment déterminé et du signe de la fonction $F(x,y)$. En effet, le signe de la fonction $F(x,y)$ va permettre de savoir si le point se trouve sur la courbe $F(x,y) = 0$, au-dessus de la courbe
- 20 $F(x,y) > 0$ ou au-dessous de la courbe $F(x,y) < 0$ (le calcul pouvant être, dans le cas d'une conique, implémenté grâce à un algorithme incrémental tel que celui de Danielson.

Cette détermination peut être effectuée au moyen d'un décodeur dont la table de vérité $N = f_3$ (octant, signe) est représentée sur la figure 5.

Selon cette table de vérité, pour $N = 0$, on appliquera un incrément $\Delta x = 0,25$, pour $N = 1$, on appliquera un incrément

30 $-\Delta x = -0,25$, pour $N = 2$, on appliquera un incrément $\Delta y = 0,25$ et, pour $N = 3$, on appliquera un incrément $-\Delta y = -0,25$.

La détermination des pixels de la surface de visualisation

35 les plus proches des points (x_i, y_i) précédemment déterminés dans le réseau maillé à pas réduit, peut s'obtenir d'une façon très simple : en effet, ces pixels seront déterminés chaque fois que les valeurs x_i ou y_i ont une valeur entière suivant l'octant.

Dans ce cas, la valeur e pourra être facilement obtenue par la partie fractionnaire de x_i ou y_i . A partir de cette valeur e , il sera ensuite possible de déterminer un motif lumineux, par exemple composé de trois pixels adjacents, dont la portion élémentaire de courbe qu'ils sont censés représenter est repérée par un axe central devant correspondre à des valeurs x_i entier, ou y_i entier. Il convient de noter que ces motifs sont déterminés à l'avance et peuvent être mis en mémoire, l'adressage de ces motifs pouvant être effectué conformément à la table de vérité représentée figure 6, à partir du numéro des motifs et de la description de la position de la courbe (choix d'un motif horizontal ou d'un motif vertical).

15 Le numéro du motif peut, quant à lui, être déterminé au moyen d'un décodeur dont les tables de vérité sont représentées sur la figure 7, en fonction de la partie fractionnaire de x_i ou de y_i , du signe de la fonction $F(x,y)$ et du signe des dérivées premières F_X, F_Y .

20

Le problème qui reste à résoudre est alors celui de la détermination de l'endroit où il convient d'appliquer le motif. En effet, selon la valeur de la partie fractionnaire de X_i ou de Y_i , selon le signe des dérivées premières F_X, F_Y et selon le signe de la fonction F , le motif devra se positionner sur le pixel de coordonnées (X_i, Y_i) , $(X_i + 1, Y_i)$ ou $(X_i, Y_i + 1)$. Cette détermination peut être obtenue au moyen d'un décodeur dont les tables de vérité sont représentées sur la figure 8.

30

L'étape suivante consiste alors en l'allumage du motif précédemment déterminé, à l'endroit précédemment défini.

Il convient de noter que le lissage aux extrémités de la courbe s'obtient en évaluant directement, à partir des coordonnées de début et de fin de la courbe, les coefficients α et e qui consistent respectivement en les distances suivant X et Y d'un point d'extrémité de la courbe aux coordon-

nées X_i Y_i du pixel le plus proche et d'attribuer en fonction de ces deux distances des motifs présentant des numéros correspondants. Un tel processus ne présente pas de difficulté pour un homme de l'art et ne sera, par conséquent, pas décrit.

La figure 3 représente un algorithme permettant d'effectuer le tracé d'une courbe lissée selon le processus précédemment décrit.

10

A compter du début (bloc 20) l'algorithme comprend tout d'abord une phase d'initialisation (bloc 21) dans laquelle on effectue le calcul des dérivées premières et secondes exprimées en pixel multiplié par 4 de la fonction $F(x,y)$ au point D (début de la courbe) de coordonnées X_D et Y_D , ces dérivées étant les suivantes :

$$F_X = \frac{\partial F(x_D, y_D)}{\partial x} \times \frac{1}{4}$$

20
$$F_Y = \frac{\partial F(x_D, y_D)}{\partial y} \times \frac{1}{4}$$

$$F_{XX} = \frac{\partial^2 F(x_D, y_D)}{\partial x^2} \times \frac{1}{16}$$

$$F_{YY} = \frac{\partial^2 F(x_D, y_D)}{\partial y^2} \times \frac{1}{16}$$

25

$$F_{XY} = \frac{\partial^2 F(x_D, y_D)}{\partial x \partial y} \times \frac{1}{16}$$

Le point de coordonnées x_D , y_D étant sur la courbe, la fonction $F(x, y)$ est égale à zéro.

30

Dans une seconde phase (bloc 22), on détermine, grâce à la table de vérité représentée sur la figure 4, l'octant (octant = f_1 (F_x , F_y)) et la nature, verticale ou horizontale, du motif à appliquer (vertical = f_2 (octant)).

35

Dans une troisième phase, le système vérifie que l'octant (octant = f_1 (F_X , F_Y)) n'a pas changé à la suite d'une

incrémentation (bloc 23). Si l'octant a changé, le système se reboucle en amont du bloc 22 dans le cas contraire, ou passe à la phase suivante.

5 Dans une quatrième phase, le système effectue un test de fin de course (bloc 23). Celle-ci sera détectée si la valeur absolue de la différence $x-XF$ et la valeur absolue de la différence $y-YF$, sont inférieures ou égales à 0,25 (YF et XF étant les coordonnées du point final de la courbe). Si la
10 fin de la courbe est détectée, le processus est terminé (bloc fin 25).

Dans le cas où la fin de la courbe n'est pas détectée, la phase suivante (la cinquième) consiste en la détermination
15 de l'incrément, au moyen de la table de vérité représentée sur la figure 11 (bloc 26).

Le système calcule ensuite (bloc 27), suivant la valeur de l'incrément précédemment déterminée, les valeurs (sixième
20 phase) :

$$\begin{aligned}x &= x + 0,25 \\F &= F + Fx + \frac{1}{2} FXX \\FX &= FX + FXX \\FY &= FY + FXY\end{aligned}$$

25

$$\begin{aligned}x &= x - 0,25 \\F &= F - FX + \frac{1}{2} FXX \\FX &= FX - FXX \\FY &= FY - FXY\end{aligned}$$

30

$$\begin{aligned}y &= y + 0,25 \\F &= F + FY + \frac{1}{2} FYY \\FX &= FX + FXY \\FY &= FY + FYY\end{aligned}$$

35

$$\begin{aligned}y &= y - 0,25 \\F &= F - FY + \frac{1}{2} FYY \\FX &= FX - FXY \\FY &= FY - FYY\end{aligned}$$

La septième étape est un branchement en fonction de la nature verticale ou non du motif à utiliser (bloc 28) :

a) si le motif à utiliser est vertical, l'étape suivante est 5 la détection du passage de x par une valeur entière (bloc 29), si la valeur de x n'est pas une valeur entière le système se reboucle en amont du bloc (23) pour calculer un nouveau point ; par contre, si la valeur de x est une valeur entière, on passe à l'étape suivante. (bloc 30) dans laquelle 10 s'effectuent :

- la détermination du numéro du motif (motif = $f_5(y, F, Fx)$) à l'aide de la table de vérité représentée figure 7,

- la détermination de l'endroit où il faut appliquer le motif $Y' = f'_5(y, F, Fx)$ à l'aide de la table de vérité 15 représentée figure 8,

- l'allumage du motif au point X, Y' en utilisant la table de vérité représentée figure 6, une fois le motif allumé, le système se reboucle en amont du bloc 23 ;

20 b) si le motif à utiliser est horizontal, l'étape suivante est la détection du passage de y par une valeur entière (bloc 31), si la valeur de y n'est pas une valeur entière, le système se reboucle en amont du bloc 23 pour calculer un nouveau point. Par contre, si la valeur de y est une valeur 25 entière, on passe à l'étape suivante (bloc 32) dans laquelle s'effectuent :

- la détermination du numéro du motif (motif = $f_4(x, F, FY)$) à l'aide de la table de vérité représentée figure 7,

- la détermination de l'endroit où il faut appliquer le 30 motif $X' = f'_4(x, F, FY)$ à l'aide de la table de vérité représentée figure 8,

- l'allumage du motif au point $X'Y$ en utilisant la table de vérité représentée figure 6.

35 D'une façon analogue, une fois le motif allumé, le système se reboucle en amont du bloc 23.

La figure 1 permet d'illustrer le principe du mode de tracé précédemment décrit.

Sur cette figure, on a représenté selon les coordonnées X, Y le réseau maillé (ou grille) de la surface d'affichage. Sur ce réseau, les pixels sont repérés par l'intersection des lignes $Y_0, Y_1 \dots Y_n$ avec les colonnes $X_0, X_1 \dots X_n$ (en traits pleins). Le réseau maillé à pas réduit est représenté par les lignes $y_0, y_1 \dots y_n$ et les colonnes $x_0, x_1 \dots x_n$ (en traits interrompus dans les intervalles des mailles de la surface d'affichage).

Sur ce réseau figure la courbe théorique $C = F(x,y)$ qu'il convient de tracer, qui présente une origine D et une fin F. Sur le réseau maillé à pas réduit les coordonnées de D sont x_0 et y_3 .

Le processus de tracer de la courbe selon l'algorithme représenté figure 3 s'effectue comme suit :

Tout d'abord, l'algorithme effectue l'initialisation de X à la valeur x_0 et de y à la valeur y_3 . On se trouve donc sur le point D de la courbe, de sorte que $F = 0$. Le système va donc effectuer une incrémentation dy_1 qui détermine le point de coordonnées (x_0, y_4) . La courbe se trouvant dans le premier octant, les motifs à appliquer sont verticaux. Par ailleurs, au point x_0, y_4 $X = 0$, la valeur fractionnaire de Y est nulle, F est inférieur à 0 et la dérivée FY est inférieure à 0. Par conséquent le motif M_1 à appliquer, lu dans la table motif = $f_5 (Y, F, FY)$ est le motif numéro 1.

Le point suivant, déterminé par le nouveau calcul de N, a pour coordonnées (x_1, y_4) obtenu par une incrémentation dx_1 . X n'étant pas entier, le système procède d'une façon analogue à des incréments dx_2, dx_3 puis dx_4 , pour lesquelles l'algorithme ne trace pas de nouveaux motifs.

35

L'incrément dx_4 détermine le point de coordonnées (x_4, y_4) . Dans cette portion de courbe, les motifs à appliquer sont toujours verticaux, la dérivée FY est négative et

$X = x_4$ est entier. L'algorithme détermine le numéro du motif au moyen de la table motif = $f_5 (Y, F, FY)$ avec $F < 0$, partie fractionnaire de Y nulle et FY négatif. Le motif M_2 trouvé est donc le motif numéro 1.

5

Le processus se poursuit ensuite jusqu'à la détermination du point de coordonnées (y_5, X_2) et ainsi de suite jusqu'à la fin de la courbe.

10 La figure 2 est une représentation à plus grande échelle permettant de représenter le tracé d'une courbe au moyen de motifs verticaux et horizontaux comprenant chacun trois pixels représentés par des cercles. Les noeuds marqués par des points correspondent à l'ensemble des points discrets
15 (x_i, y_i) trouvés par l'algorithme dans le réseau maillé à pas réduit, et les noeuds marqués par des croix représentent l'ensemble discret des centres des pixels (X_i, Y_i) de la surface de visualisation les plus proches des points (x_i, y_i) relevés et sur lesquels on applique un motif.

20

Le procédé de lissage conforme à l'exemple précédemment décrit, permet d'obtenir des courbes lissées à $\frac{1}{4}$ de pixel et fait intervenir quatre motifs différents pris horizontalement ou verticalement, symétriques deux à deux et correspon-
25 dant à des portions élémentaires de courbes éloignées d'une distance de $+ \text{ ou } - \underline{e}$ du pixel de référence.

Bien entendu, l'espace colorimétrique utilisé est celui du module de visualisation. Ainsi, dans la suite de la descrip-
30 tion, on supposera que dans cet espace colorimétrique, les trois couleurs primaires sont le rouge, le vert et le bleu.

Par ailleurs, pour déterminer les couleurs de lissage, on appliquera sur les trois couleurs primaires les mêmes rela-
35 tions et on effectuera une synthèse additive en utilisant les propriétés linéaires de l'espace utilisé.

Il va de soi qu'un même raisonnement pourra être tenu sur d'autres espaces colorimétriques, même non linéaires.

Par ailleurs, comme précédemment mentionné, le lissage d'une image en couleur nécessite la définition de plusieurs couleurs intermédiaires entre la couleur du trait et celle du fond.

Il convient de noter à ce sujet que l'invention ne se limite pas à la solution précédemment décrite.

En partant du fait qu'un segment élémentaire de courbe est considéré de façon microscopique comme un rectangle, il est possible de calculer la couleur d'un pixel proche de la courbe en déterminant l'effet produit par ce rectangle sur ledit pixel.

A cet effet, on applique sur ce pixel un filtre de reconstruction f et on calcule la contribution de la courbe sur ce pixel à travers le filtre.

Dans l'exemple représenté sur les figures 9 à 15, le filtre de reconstruction f utilisé est un filtre Gaussien de révolution de largeur égale à 0,5 pixel dont la forme est représentée sur la figure 10 et dont la valeur H est fonction de la distance d du pixel à la portion de courbe.

Selon cette méthode, le calcul de la couleur C_p d'un pixel proche de la courbe peut être réalisé au moyen de la formule :

$$C_p = C_f + K(d,h) (C_t - C_f)$$

dans laquelle :

C_f est la couleur de fond,

C_t est la couleur du trait, et

$K(d,h)$ est une valeur qui est fonction de la forme du filtre

de reconstruction et de la distance \underline{d} du pixel à la transition fond-trait de la portion de courbe ($K(\underline{d},h) \in [0,1]$).

En réalité, la valeur $K(\underline{d},h)$ est le résultat de la convolution entre la courbe et le filtre de reconstruction.

D'une façon pratique, dans le cas du calcul de la couleur des trois pixels composant un motif et, dans le cas où la courbe à tracer présente une épaisseur de deux pixels, le calcul de la valeur $K(\underline{d})$ est obtenu au moyen d'un décodeur, fournissant pour chacun des pixels la valeur de $k(\underline{d},h)$ en fonction de la valeur de "e". La table de vérité de ce décodeur est représentée sur la figure 11. Dans cette table \underline{e} prend successivement les valeurs $-\frac{3}{8}$, $-\frac{1}{8}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{3}{8}$. En pratique, les valeurs de $K(\underline{d},h)$ (0,85 ; 0,96 ; 0,99) sont prises égales à 0,85 pour limiter le nombre des couleurs différentes nécessaires au lissage.

Le même principe est appliqué pour déterminer les motifs d'extrémité de la courbe. Dans ce cas également, l'extrémité de la courbe est assimilée à une portion de rectangle et la largeur du filtre utilisé limite à 1 motif avant ou après l'influence de l'extrémité de la courbe.

Dans ce cas, la formule permettant de déterminer la couleur des pixels composant un motif d'extrémité de la courbe sera de la forme :

$$C_p = C_f + K (C_t - C_f)$$

formule dans laquelle K est déterminé pour une épaisseur de courbe donnée en fonction des distances \underline{e} et α entre le pixel et l'extrémité de la courbe selon les deux axes de coordonnées X et Y (figure 12) (K_1 étant la valeur K du pixel 1, K_2 étant la valeur K du pixel 2 et K_3 étant la valeur K du pixel 3).

35

Ces valeurs de K sont obtenues au moyen d'un décodeur dont les tables de vérité sont représentées figures 13, 14 et 15.

0151544

On notera que, pour limiter le nombre de couleurs de lissage nécessaires, les coefficients ci-dessus sont approximés au coefficient K le plus proche nécessaire pour le lissage de la courbe, à savoir $K = 0,15 ; 0,37 ; 0,63 ; 0,85$.

5

Le procédé précédemment décrit peut être réalisé au moyen d'un processeur dont l'architecture est représentée sur les figures 16 et 17.

10 Ce processeur comprend tout d'abord une unité centrale 40 permettant l'exécution d'un algorithme de lissage tel que ceux précédemment décrits, cette unité centrale 40 étant reliée, par l'intermédiaire d'une interface et d'un BUS 41 à deux sous-ensembles, à savoir à un contrôleur de mémoire 42
15 et à un lisseur 43.

Le contrôleur mémoire 42 est destiné à gérer tous les accès en écriture et en lecture à une mémoire vidéo 44, ainsi que les signaux de synchronisation pour le dispositif de visua-
20 lisation, ici un tube de télévision à entrée analogique 45, et la commande de synchronisation pour le lancement du lisseur 43.

La mémoire vidéo 44 utilisée est divisée en plans mémoires
25 $44_a, 44_b, 44_c, 44_d$ permettant de définir chacun un bit de codage pour chacun des pixels de l'image.

Les informations fournies par la mémoire vidéo 44 sont transmises à une mémoire programmable 46 (PROM LOOK UP
30 TABLE) qui effectue le transcodage de l'information logique provenant des plans mémoires $44_a, 44_b, 44_c, 44_d$ en une information numérique de couleur RVB.

Ces informations numériques de couleur sont ensuite transmi-
35 ses à un convertisseur 47 transformant l'information numérique de couleur en information analogique séparée pour chaque canon RVB du tube de télévision 45.

Du fait du balayage de télévision, la lecture des plans mémoires 44_a à 44_d est périodique de fréquence dépendant de la fréquence de rafraîchissement de l'image.

- 5 Le contrôleur de mémoire 42 incrémente régulièrement les adresses à lire et transmet les signaux de synchronisation au tube de télévision 45, à savoir :
- les signaux de synchronisation horizontale H-synchro,
 - les signaux de synchronisation verticale V-synchro.

10

Cette gestion des accès en lecture est organisée autour d'un composant CRTC par exemple le composant MC 6845 de la firme Motorola.

- 15 Le contrôleur de mémoire 42 gère également le séquençement lecture/écriture de la mémoire vidéo 44 en fonction de la fréquence de rafraîchissement de l'image. Il n'autorise l'écriture dans les plans mémoires qu'à certains moments uniquement.

20

Le contrôleur de mémoire 42 génère en outre l'adresse d'écriture dans les plans mémoires 44_a à 44_d .

L'adresse d'écriture est composée à partir des informations 25 X,Y du motif à tracer, de l'épaisseur et de l'octant.

La réception du numéro de motif déclenche la séquence d'écriture de tous les pixels du motif et active le lisseur 43. Les adresses successives de tous les pixels sont calculées pour être disponibles lors de cycles d'écriture mémoire consécutifs. Le lisseur présente à ces moments là la couleur à écrire en mémoire.

Tel que représenté sur la figure 17, le lisseur utilisé dans 35 le processeur précédemment décrit comprend tout d'abord, raccordés au BUS 41 :

- un circuit logique de contrôle 49 permettant le chargement de registres et un séquençement (timing) identique au séquençement d'écriture en mémoire vidéo 44, et
- trois registres 50, 51, 52 destinés à mémoriser les informations utiles au lissage, à savoir :
 - les informations sur le numéro de couleur à tracer (registre 51),
 - les informations concernant le numéro des motifs (registre 50),
 - 10 - les informations sur l'épaisseur du tracé (registre 52).

Le lisseur comprend en outre une mémoire programmable PROM de lissage 53 raccordée par ses entrées au registre 50 destiné aux numéros des motifs et au registre 52 destiné aux informations sur l'épaisseur du tracé, par l'intermédiaire d'un encodeur d'extrémités 54 qui consiste en fait en un décompteur associé à une sortie indiquant le chargement, le décomptage quelconque, la fin du décomptage.

20 La mémoire programmable de lissage 53 contient la description de tous les motifs utilisés, et notamment les numéros de couleurs intermédiaires (1, 2, 3) et les numéros de couleur (4).

25 Cette mémoire programmée de lissage 53 est reliée par sa sortie à l'entrée d'une mémoire programmée 55, destinée à décrire, pour chaque numéro de couleur, les quatre couleurs de lissage à utiliser et à transmettre à la mémoire vidéo 44
30 les informations correspondantes. Cette mémoire programmée 55 se trouve également reliée par son entrée au registre 51 contenant les informations sur le numéro de couleur à tracer.

35 Le circuit logique de contrôle 49 pilote les trois registres 50, 51, 52 ainsi que l'encodeur d'extrémité 54. Il détecte la présence des informations intéressant le lisseur sur le BUS 41 et génère l'ordre de chargement dans le registre correspondant.

La commande du contrôleur de mémoire 42 déclenche la séquence de fonctionnement suivante de l'encodeur d'extrémité 54 :

- le chargement des informations d'épaisseur dans l'encodeur d'extrémité 54 et l'activation de la sortie de cet

5 encodeur 54 pour signifier "pixel du haut" du motif ;

- la décrémentation du décompteur de l'encodeur d'extrémité 54 et l'activation de la sortie pour signifier "pixel du centre" du motif ;
- l'arrêt de la décrémentation de l'encodeur d'extrémité 54

10 et l'activation de la sortie pour signifier "pixel du bas" du motif.

Cette séquence est contrôlée de façon telle que le temps entre deux décomptages soit égal au temps entre deux écritures consécutives dans la mémoire vidéo 44. Ainsi, la sortie de l'information sur la couleur provenant du lisseur et la sortie de l'adresse du pixel sont synchrones.

Les informations concernant le numéro du motif fournies par

20 le registre 50 et les informations fournies par l'encodeur d'extrémité 54 permettent de sélectionner dans la mémoire programmable de lissage 53 le type de couleur intermédiaire à écrire en mémoire 44, c'est-à-dire les couleurs intermédiaires 1, 2, 3 ou la couleur de tracé 4.

25

Cette information permet d'adresser, avec le numéro de la couleur, la mémoire programmable 44 (couleur lissée) et d'avoir ainsi le code de couleur de lissage à écrire réellement en mémoire vidéo 44.

30

La sortie du lisseur 43 est toujours active, le contrôle permettant simplement d'assurer que les bonnes informations de couleurs seront présentées sur le bus d'écriture de données 56, de la mémoire vidéo 44 quand les adresses et les

35 commandes d'écriture seront envoyées par le contrôleur de mémoire 42.

Revendications de brevet

1. Procédé pour le tracé, avec lissage, sur une surface de visualisation à réseau maillé, d'une courbe d'équation $F(x,y) = 0$, par un processus incrémental en déterminant, à partir des éléments de contact des extrémités
5 de la courbe, l'ensemble discret (x_i, y_i) des points suivant au mieux ladite courbe dans un réseau maillé à nombre de lignes et de colonnes fini, dont le pas est réduit à une fraction du pas du réseau maillé de la surface de visualisation,
- 10 caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
- le calcul des dérivées partielles de l'équation au point marquant le début de la courbe de coordonnées $x = x_D$,
 $y = y_D$,
 - la détermination du caractère horizontal ou vertical du
15 motif à appliquer d'après le signe des dérivées premières F_x, F_y et du signe de la différence entre les valeurs absolues de F_x et de F_y ,
 - la détermination d'un changement d'octant,
 - un test fin de courbe,

20 - la détermination d'une incrémentation, Δx , $-\Delta x$, Δy ou $-\Delta y$ égal en valeur absolue au pas réduit en fonction de l'octant et du signe de la fonction $F(x,y)$,

 - la mise à jour de $F(x,y)$ et des dérivées partielles au nouveau point obtenu sur le réseau maillé à pas réduit,

25 - selon que le motif à appliquer est vertical ou horizontal, la détection du passage de x ou de y à une valeur entière et sinon la répétition du processus à partir de la susdite détection de changement d'état,

 - dans le cas où y est entier, la détermination d'un motif
30 en fonction de la valeur e qui est sensiblement égale à la valeur de la partie fractionnaire de x et l'allumage du motif correspondant,
 - dans le cas où x est entier, la détermination d'un motif en fonction de la valeur e qui est sensiblement égale à la
35 valeur de la partie fractionnaire de y et l'allumage du motif correspondant,

- la répétition du processus à partir de la susdite détection du changement d'octant une fois qu'un motif a été allumé.

5 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, dans le cas où la variable y est entière, la détermination d'un motif en fonction de la valeur e est obtenue au moyen d'une table de vérité, à partir du signe de la dérivée $\frac{\partial F(x,y)}{\partial y}$ et du signe de la
10 fonction F au point considéré, l'allumage de ce motif s'effectuant au point (x',y) , x' étant déterminé par une table de vérité en fonction de la dérivée $\frac{\partial F(x,y)}{\partial y}$ et du signe de $F(x,y)$, et en ce que, dans le cas où la variable x est entière, la détermination d'un motif en fonction de la
15 valeur e est obtenue au moyen d'une table de vérité, à partir du signe de la dérivée $\frac{\partial F(x,y)}{\partial x}$ et du signe de la fonction F au point considéré, l'allumage de ce motif s'effectuant au point (x,y') , y' étant déterminé par une table de vérité en fonction de la dérivée $\frac{\partial F(x,y)}{\partial x}$ et du
20 signe de $F(x,y)$.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la détermination de la couleur d'un pixel d'un motif proche de la courbe est obtenue en appli-
25 quant sur ce pixel un filtre de reconstruction et en calculant, par une convolution entre la courbe à tracer et le filtre, la contribution de la courbe sur ce pixel à travers le filtre, de manière à en déduire la couleur à attribuer au pixel pour générer l'effet produit par la courbe passant
30 près de ce pixel.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la couleur C_p du pixel est déterminée par l'équation :

35 $C_p = C_f + K(d,h) (C_t - C_f)$

équation dans laquelle :

C_f est la couleur de fond,

C_t est la couleur de trait,

$K(d,h)$ est une variable dont la valeur pour une courbe d'épaisseur donnée est fonction du filtre de reconstruction, de la distance \underline{d} du pixel à la courbe, et de l'épaisseur de la courbe.

5

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que la variable $K(d,h)$ est déterminée par une table de vérité fournissant, pour chacun des pixels constituant un motif, la valeur de $K(d,h)$ en fonction de la
10 valeur \underline{e} servant à déterminer ce motif.

6. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif de visualisa-
15 tion piloté par un processeur comprenant une unité centrale (40) apte à exécuter un algorithme de lissage relié par l'intermédiaire d'une interface et d'un BUS (41) au moins à un lisseur (43) et à un contrôleur de mémoire (42) destiné à
20 gérer tous les accès en écriture et en lecture à une mémoire vidéo (44) ainsi que tous les signaux de synchronisation pour le dispositif de visualisation et pour la commande de synchronisation assurant le lancement du lisseur (43).

7. Dispositif selon la revendication 6,
25 caractérisé en ce que la mémoire vidéo (44) est divisée en plans mémoires permettant de définir chacun un bit de codage pour chacun des pixels de l'image, en ce que les informations fournies par la mémoire vidéo (44) sont transmises à une mémoire programmable (46) qui effectue le transcodage de
30 l'information logique des plans mémoires (44_a , 44_b , 44_c , 44_d) en une information numérique de couleur, et en ce que ces informations numériques de couleur sont ensuite transformées par un convertisseur (47) en des informations analogiques séparées pour chacune des couleurs, utilisables par
35 le dispositif de visualisation.

8. Dispositif selon l'une des revendications 6 et 7, caractérisé en ce que la lecture des plans de mémoire (44_a à 44_d) est périodique et s'effectue à une fréquence dépendant de la fréquence de rafraîchissement de l'image, et en ce que
5 le contrôleur de mémoire (42) est conçu de manière à incrémenter régulièrement les adresses à lire et transmet les signaux de synchronisation horizontale et verticale du dispositif de visualisation.

10 9. Dispositif selon l'une des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que le contrôleur est conçu de manière à :
- gérer le séquençement lecture-écriture de la mémoire vidéo (44) en fonction de la fréquence de rafraîchissement de l'image ;
15 - n'autoriser l'écriture dans les plans mémoires qu'à certains moments uniquement, et
- générer en outre l'adresse d'écriture dans les plans mémoires (44_a à 44_d).

20 10. Dispositif selon l'une des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que le lisseur comprend :

- d'une part, raccordés au susdit bus :
- un circuit logique de contrôle (49) permettant le
25 chargement de registres et un séquençement identique au séquençement d'écriture en mémoire vidéo (44), ainsi que
- des registres (50, 51, 52) destinés à mémoriser les informations utiles au lissage et, en particulier, un premier registre (50) prévu pour les informations sur le
30 numéro de couleur à tracer, un deuxième registre (51) pour les informations concernant le numéro des motifs et un troisième registre (52) pour les informations sur l'épaisseur du tracé, et

35 - d'autre part :

- une mémoire programmable de lissage (53) raccordée par ses entrées au premier registre (50) et au deuxième registre (51), par l'intermédiaire d'un encodeur

d'extrémité (54) qui consiste en fait en un décompteur associé à une sortie indiquant le chargement, le décomptage et la fin du décomptage, cette mémoire programmable (53) contenant la description de tous les motifs utilisés et étant reliée par sa sortie à l'entrée d'une
5 mémoire programmée (55) reliée par son entrée au deuxième registre (51) et apte à décrire, pour chaque numéro de couleur, les quatre couleurs de lissage à utiliser, et à transmettre à la mémoire vidéo (44) les informations
10 correspondantes.

11. Dispositif selon l'une des revendications 6 à 10, caractérisé en ce que le susdit circuit logique de contrôle (49) pilote les trois registres (50, 51, 52) ainsi que
15 l'encodeur d'extrémité, détecte la présence des informations intéressant le lisseur sur le BUS (41) et génère l'ordre de chargement dans le registre correspondant.

12. Dispositif selon l'une des revendications 6 à 11,
20 caractérisé en ce que le contrôleur de mémoire (42) est apte à déclencher la séquence de fonctionnement suivante de l'encodeur d'extrémité (54) :

- le chargement des informations d'épaisseur dans l'encodeur d'extrémité (54) et l'activation de la sortie de cet
25 encodeur (54) pour signifier "pixel du haut" du motif ;
- la décrémentation du décompteur de l'encodeur d'extrémité (54) et l'activation de la sortie pour signifier "pixel du centre" du motif ;
- l'arrêt de la décrémentation de l'encodeur d'extrémité
30 (54) et l'activation de la sortie pour signifier "pixel du bas" du motif.

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que la susdite séquence est contrôlée de
35 façon telle que le temps entre deux décomptages soit égal au temps entre deux écritures consécutives dans la mémoire vidéo (44).

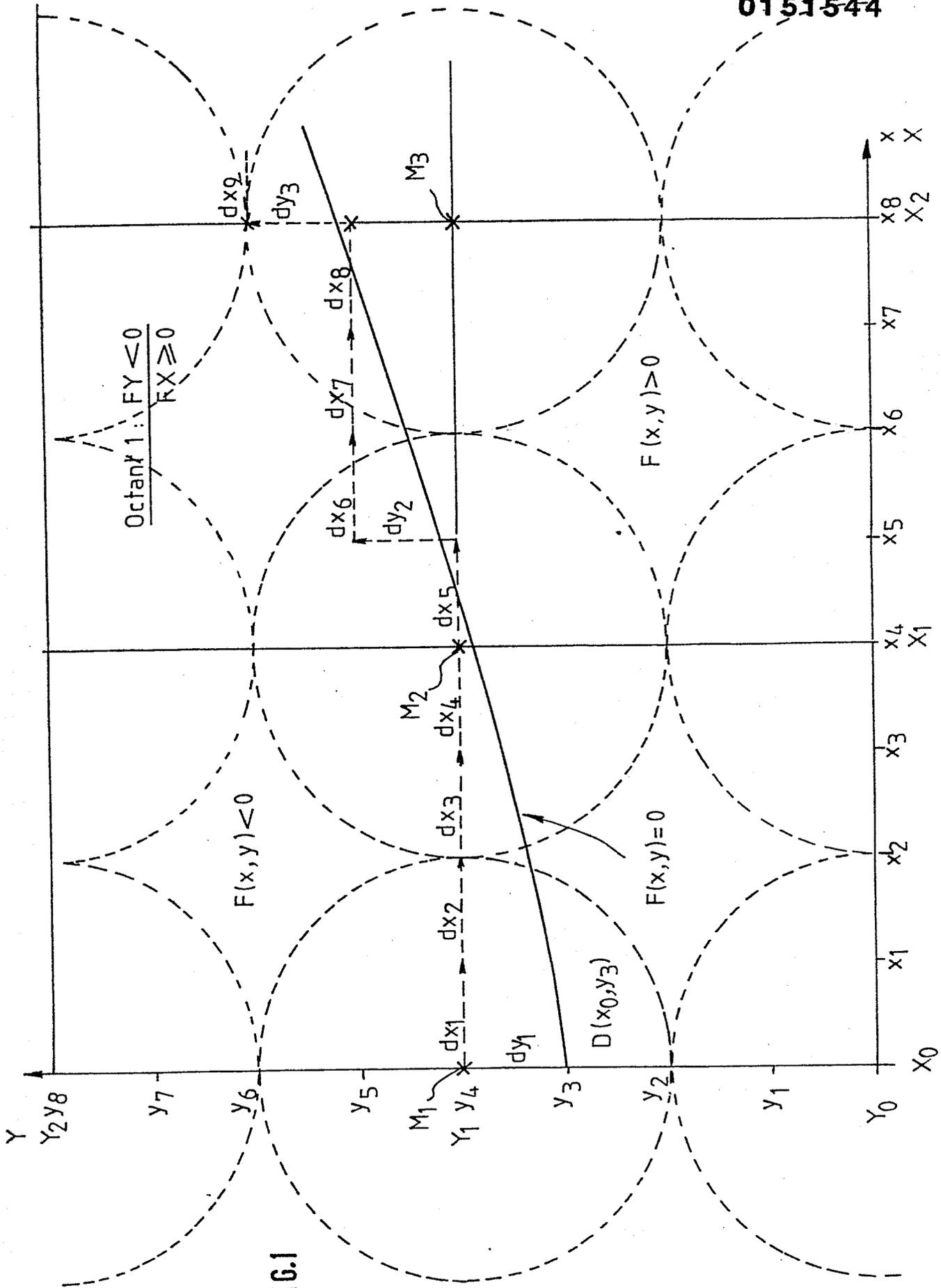


FIG.1

FIG.2

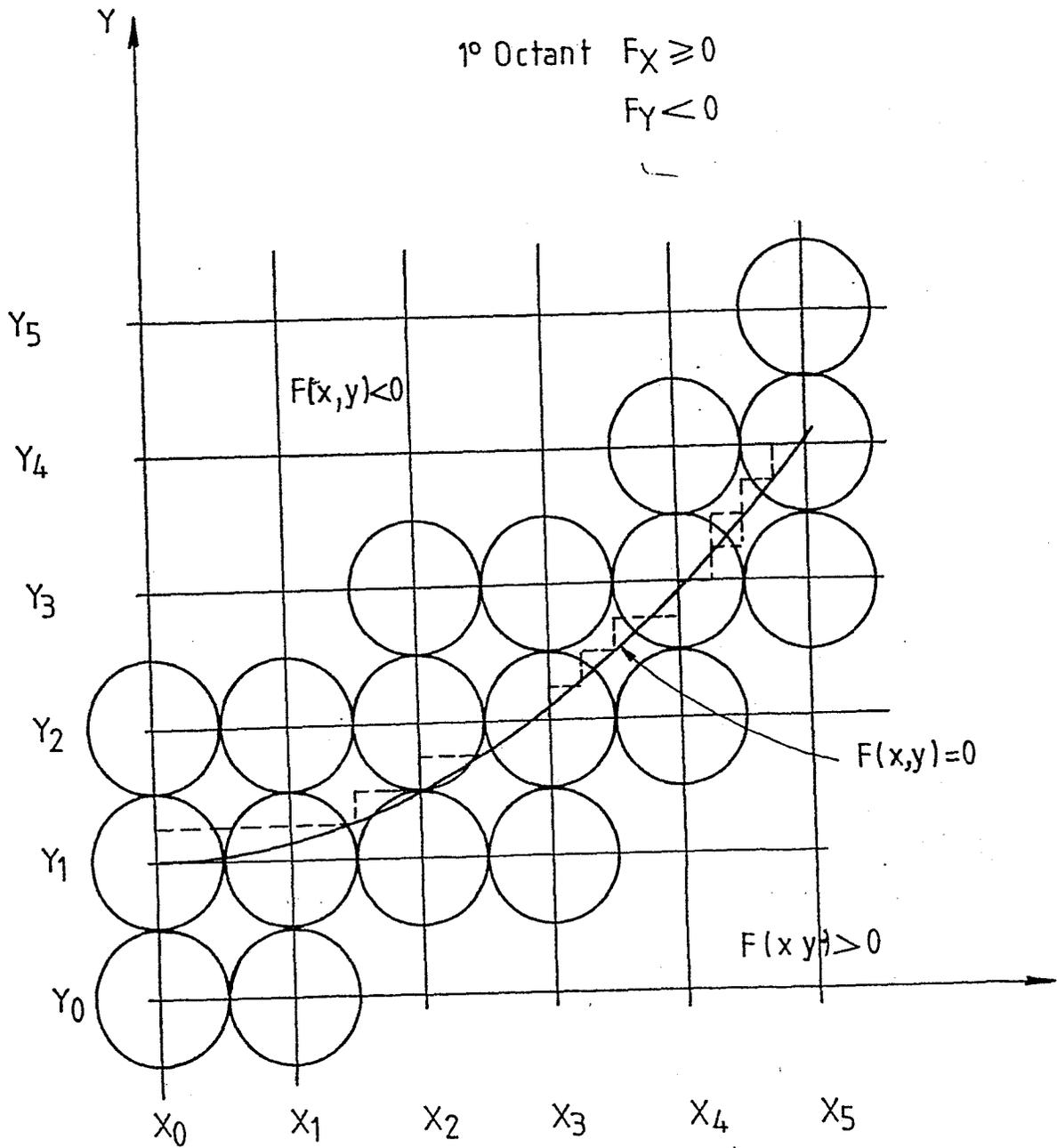


FIG.3

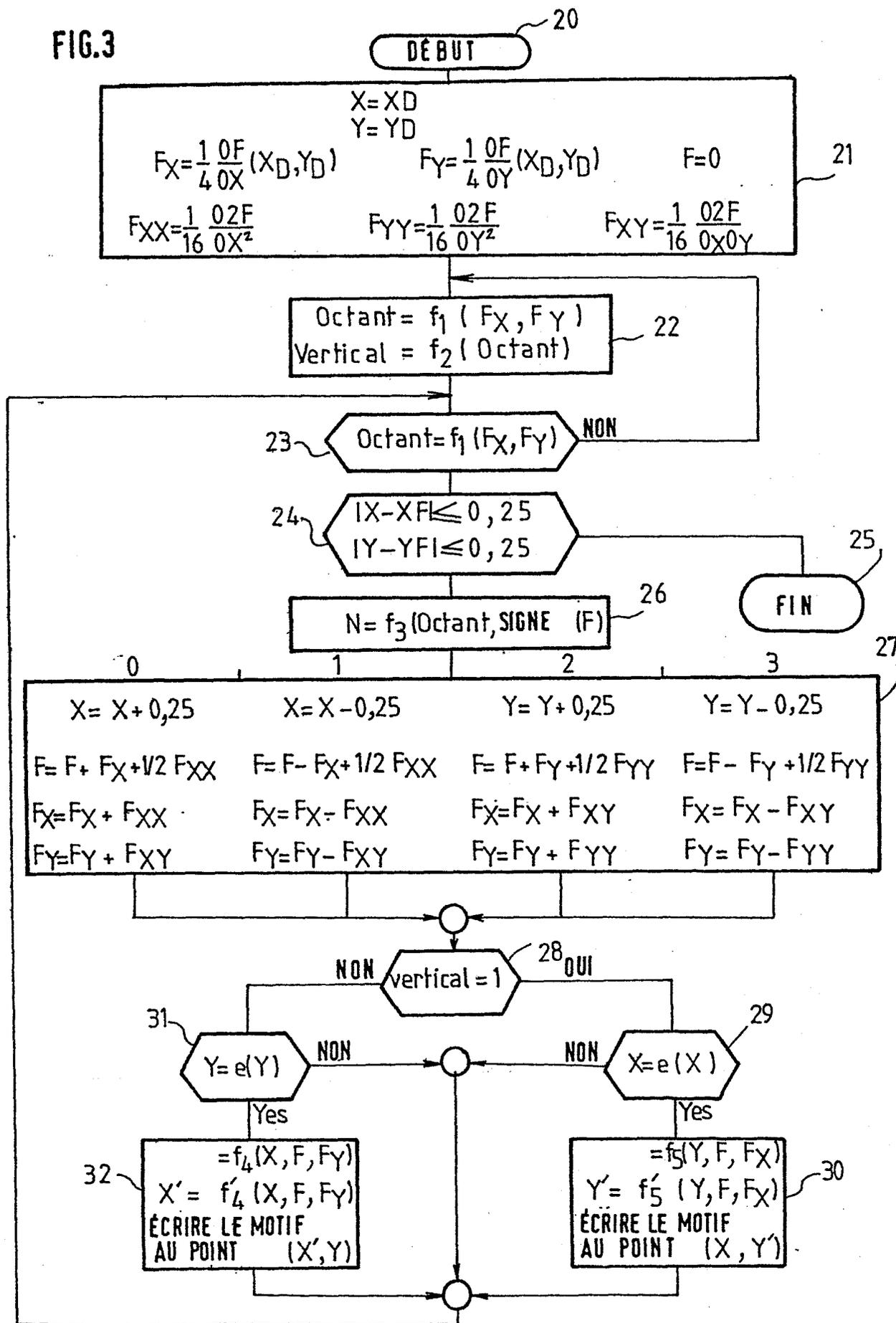


FIG. 4

SIGNE (FY - FX)	SIGNE (FX)	SIGNE (FY)	f ₁	f ₂
+	+	+	4	1
+	+	-	1	1
+	-	+	5	1
+	-	-	8	1
-	-	+	6	0
-	-	-	7	0
-	+	+	3	0
-	+	-	2	0

FIG. 5

$N = f_3$ (Octant, SIGNE F)

Octant	1	2	3	4	5	6	7	8
$F > 0$	2	2	1	1	3	3	0	0
$F < 0$	0	0	2	2	1	1	3	3

FIG. 6

N° MOTIF	0	1	2	3
DESCRIPTION DE LA POSITION DE LA COURBE				

MOTIF = $f_4(X, F, F_X)$

FIG.7

PARTIE FRACTIONNAIRE DE X	0	0,25	0,5	0,75
$F_X \geq 0$	1	2	3	0
$F_X < 0$	2	3	0	1
$F_X \geq 0$	2	3	0	1
$F_X < 0$	1	2	3	0

MOTIF = $f_5(Y, F, F_Y)$

PARTIE FRACTIONNAIRE DE Y	0	0,25	0,5	0,75
$F_Y \geq 0$	1	2	3	0
$F_Y < 0$	2	3	0	1
$F_Y \geq 0$	2	3	0	1
$F_Y < 0$	1	2	3	0

FIG.8

$X' = f'_4(X, F, F_X)$

PARTIE FRACTIONNAIRE DE X	0	0,25	0,5	0,75
$F_X \geq 0$	E(X)	E(X)	E(X)	E(X+1)
$F_X < 0$	E(X)	E(X)	E(X+1)	E(X+1)
$F_X \geq 0$	E(X)	E(X)	E(X+1)	E(X+1)
$F_X < 0$	E(X)	E(X)	E(X)	E(X+1)

$Y' = f'_5(Y, F, F_Y)$

PARTIE FRACTIONNAIRE DE Y	0	0,25	0,5	0,75
$F_Y \geq 0$	E(Y)	E(Y)	E(Y)	E(Y+1)
$F_Y < 0$	E(Y)	E(Y)	E(Y+1)	E(Y+1)
$F_Y \geq 0$	E(Y)	E(Y)	E(Y+1)	E(Y+1)
$F_Y < 0$	E(Y)	E(Y)	E(Y)	E(Y+1)

FIG.9

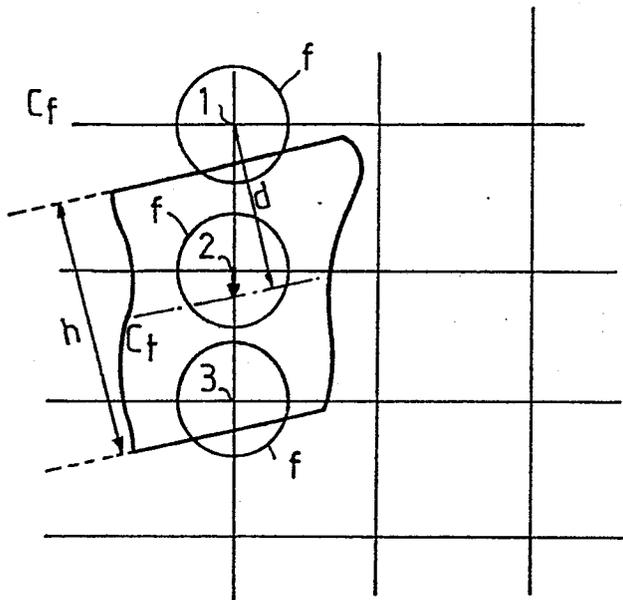


FIG.10

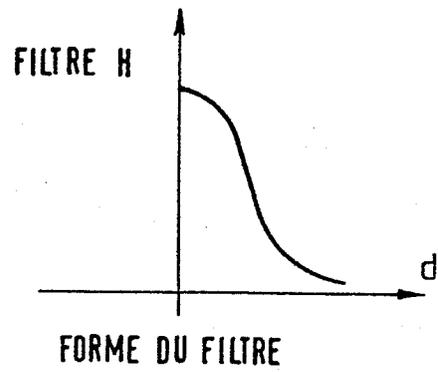


FIG.11

	$e=-3/8$	$e=-1/8$	$e=1/8$	$e=3/8$
K_1	0,15	0,37	0,63	0,85
K_2	0,96	0,99	0,99	0,96
K_3	0,85	0,63	0,37	0,15

FIG.12

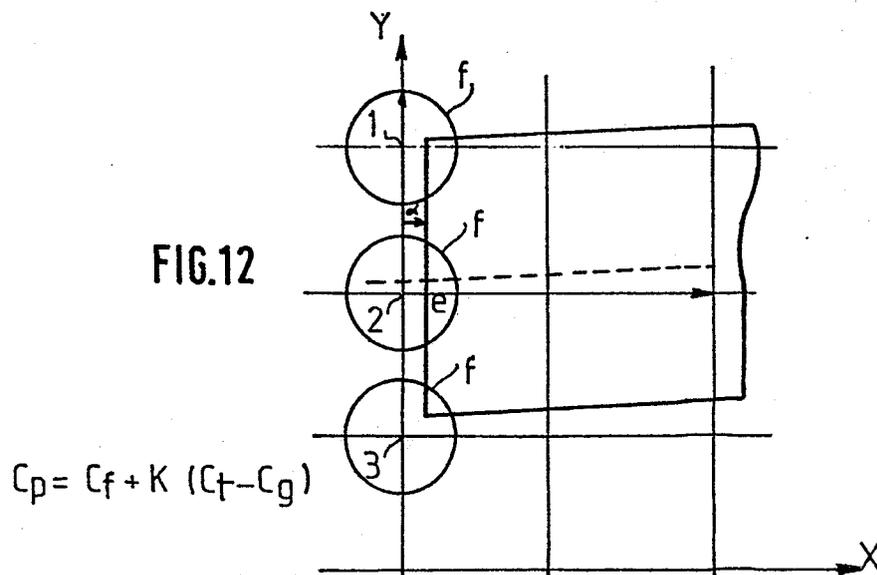


FIG.13

e \ α	-3/8	-1/8	1/8	3/8
-3/8	0,13	0,10	0,05	0,02
-1/8	0,32	0,23	0,14	0,05
1/8	0,53	0,40	0,23	0,10
3/8	0,72	0,53	0,32	0,13

FIG.14

e \ α	-3/8	-1/8	1/8	3/8
-3/8	0,83	0,63	0,37	0,13
-1/8	"	"	"	"
1/8	"	"	"	"
3/8	"	"	"	"

FIG.15

e \ α	-3/8	-1/8	1/8	3/8
-3/8	0,72	0,53	0,32	0,13
-1/8	0,53	0,40	0,23	0,10
1/8	0,32	0,23	0,14	0,05
3/8	0,13	0,10	0,05	0,02

FIG.16

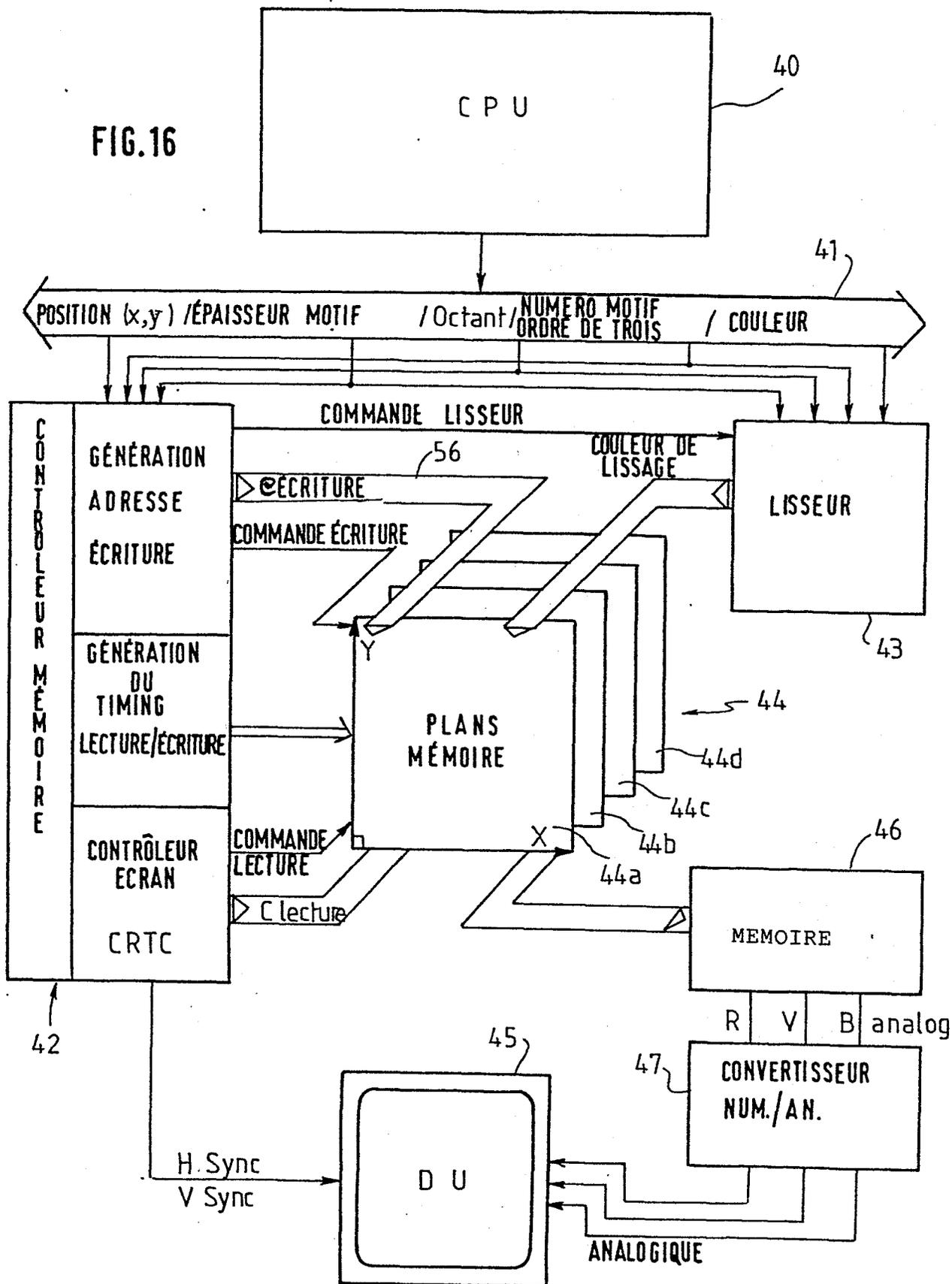


FIG.17

